

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

10/518485

(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
31 décembre 2003 (31.12.2003)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2004/001451 A1

(51) Classification internationale des brevets⁷ : G01V 1/30,
1/28

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2003/001755

(22) Date de dépôt international : 11 juin 2003 (11.06.2003)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
02/07597 19 juin 2002 (19.06.2002) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : EARTH
DECISION SCIENCES [FR/FR]; Parc d'Activités Tech-
nologiques EUROPARC, de NANCY-BRABOIS, 22, allée
de la Forêt de la Reine, Bâtiment 11, F-54500 Vandoeu-
vre-les-Nancy (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : DULAC,

Jean-Claude [FR/US]; 2634 Williams Grant, Sugarland,
TX 77479 (US). BOSQUET, Fabien [FR/FR]; 33, rue
de la Ravinelle, F-54000 Nancy (FR). LABRUNYE,
Emmanuel [FR/FR]; 14, rue Camille Mathis, F-54000
Nancy (FR).

(74) Mandataire : LAGET, Jean-Loup; Cabinet Loyer, 78,
avenue Raymond Poincaré, F-75116 Paris (FR).

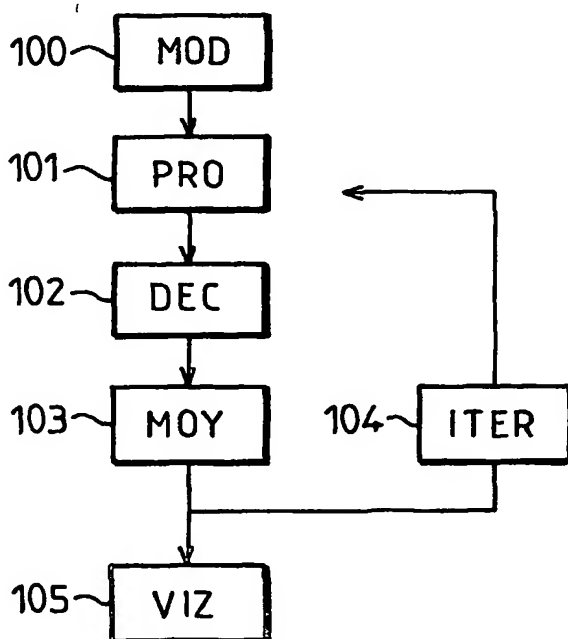
(81) États désignés (national) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ,
BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ,
DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,
HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK,
LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX,
MZ, NI, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE,
SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ,
VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (régional) : brevet ARIPO (GH, GM, KE,
LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), brevet
eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet
européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI,
FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: METHOD, DEVICE AND SOFTWARE PACKAGE FOR SMOOTHING A SUBSURFACE PROPERTY

(54) Titre : PROCEDE, DISPOSITIF ET PRODUIT-PROGRAMME DE LISSAGE D'UNE PROPRIÉTÉ DE SUBSURFACE



(57) Abstract: The invention concerns a method for smoothing a subsurface property in a geological structure represented by seismic measurements comprising a step (100) which consists in digital modelling by continuous local seismic traces, calculating an optimal offset and defining a conditional neighbourhood of a reference central continuous local seismic trace; a step (101) which consists in selecting the property to be smoothed on a conditional neighbourhood; a third step (102) which consists in substituting properties of the conditional neighbourhood with offset properties; and a fourth step (103) which consists in selecting an average of the properties offset on the conditional neighbourhood at step (102).

(57) Abrégé : Un procédé de lissage d'une propriété de sub-surface dans une structure géologique représentée par mesures sismiques comprend une étape 100 de modélisation numérique par traces sismiques locales continues, de calcul du décalage optimal et de définition du voisinage conditionnel d'une trace sismique locale continue "centrale" de référence ; une étape 101 de choix de la propriété à lisser sur un voisinage conditionnel ; une troisième étape 102 de remplacement des propriétés du voisinage conditionnel par des propriétés décalées ; et une quatrième étape 103 de choix d'une moyenne des propriétés décalées sur le voisinage conditionnel à l'étape 102.

WO 2004/001451 A1



TR), brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Déclarations en vertu de la règle 4.17 :

- *relative au droit du déposant de revendiquer la priorité de la demande antérieure (règle 4.17.iii)) pour toutes les désignations*
- *relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17.iv)) pour US seulement*

Publiée :

- *avec rapport de recherche internationale*
- *avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues*

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

Procédé, dispositif et produit-programme de lissage d'une propriété de subsurface.

L'invention est relative à un procédé de lissage d'une propriété de subsurface dans une structure géologique représentée par des mesures sismiques.

5 L'invention est également relative à un dispositif de lissage d'une propriété de subsurface dans une structure géologique représentée par des mesures sismiques.

L'invention est enfin relative à un produit-programme d'ordinateur permettant le fonctionnement d'un dispositif programmable de lissage d'une propriété de subsurface dans une structure géologique représentée par des mesures sismiques.

10 Le document WO 01/63323 A1 décrit un procédé de traitement de données sismiques comprenant les étapes consistant à : obtenir un volume de données sismiques couvrant un volume prédéterminé de terre ; déterminer pour chaque voxel du volume de données sismiques l'orientation locale des données sismiques ; déterminer pour chaque voxel s'il existe un bord dans le voisinage, et exécuter une
15 opération de lissage sur chaque voxel dans le volume de données sismiques, dans lequel la direction de l'opération de lissage est l'orientation locale des données, et dans lequel l'opération de lissage ne dépasse pas le bord, de manière à obtenir un volume de données sismiques traitées, où la quantité associée à chaque voxel dans le volume de données traitées est le résultat obtenu par l'exécution de l'opération de lissage dans le
20 voxel dans le volume de données sismiques.

Le document WO 02/13139 A1 décrit un procédé de traitement d'images sismiques comprenant les étapes : obtenir un ensemble de données d'une image initiale bidimensionnelle ou tridimensionnelle, dans lequel chaque élément de l'ensemble de données est l'intensité initiale d'image du point de l'image ; calculer pour chaque point
25 les dérivées partielles de l'élément dans n directions pour obtenir un ensemble de valeurs dérivé des dérivées partielles; calculer pour chaque point une matrice carrée structurale symétrique à partir des valeurs des dérivées partielles; effectuer une itération point à point pondérée par une variable voisine de zéro lorsque le point est voisin d'un bord et voisine de 1 lorsqu'il est très éloigné d'un bord ; et répéter ces
30 étapes un nombre de fois pour obtenir l'image traitée.

Un premier but de l'invention est d'améliorer le lissage des propriétés de subsurface dans une structure géologique représentée par des mesures sismiques.

Un deuxième but de l'invention est de permettre un lissage simple et rapide des propriétés de subsurface, tout en ne lissant pas les discontinuités.

L'invention a pour objet un procédé de lissage d'une propriété de subsurface dans une structure géologique représentée par mesures sismiques, dans lequel on construit une fonction continue $S_{ij,k}(t)$ par interpolation ou approximation des traces sismiques discrètes d'une matrice sismique multidimensionnelle, ladite fonction étant désignée comme "trace sismique locale continue", comportant les étapes suivantes :

- a). utiliser comme décalage optimal $h_{ij,pq,k}$ de deux traces sismiques locales continues voisines $S_{ij,k}(t)$ et $S_{pq,k}(t)$, la valeur de décalage rendant maximale leur fonction de corrélation ;
- b) retenir comme voisinage conditionnel d'une trace sismique locale continue "centrale" $S_{ij,k}(t)$ le sous-voisinage consistant en des traces voisines $S_{pq,k}(t)$ correspondant à des décalages optimaux $h_{ij,pq,k}$ associés à des corrélations $R_{ij,pq,k}(h_{ij,pq,k})$ supérieures à un seuil prédéterminé compris entre 0 et 1 ;
- c). choisir une propriété de subsurface à lisser au voisinage conditionnel d'un point (i, j, k) d'une trace sismique locale continue "centrale" de référence ;
- d). décaler les propriétés de subsurface du voisinage conditionnel en translatant la variable courante de la valeur du décalage optimal $h_{ij,pq,k}$;
- e). prendre comme valeur lissée au point (i, j, k) une moyenne des propriétés de subsurface décalées à l'étape d).

Selon d'autres caractéristiques de l'invention :

- la moyenne des propriétés de surface de l'étape e) est une moyenne qui peut être pondérée, par exemple par la valeur de corrélation maximale correspondant au décalage optimal,
- la moyenne des propriétés de subsurface de l'étape e) est choisie dans l'ensemble suivant : moyenne arithmétique, moyenne géométrique, moyenne harmonique,
- on choisit comme propriété de subsurface à lisser l'amplitude réfléchie et captée par des géophones,

- si nécessaire, l'ensemble du processus de lissage est répété un certain nombre de fois pour améliorer le lissage,

- on visualise des coupes de matrice multidimensionnelle de propriété lissée sur un écran de visualisation.

5 L'invention a également pour objet un dispositif pour la mise en œuvre du procédé selon l'invention, comportant des moyens pour utiliser comme décalage optimal de deux traces sismiques locales continues voisines la valeur de décalage rendant maximale leur fonction de corrélation, des moyens pour décaler les propriétés de subsurface du voisinage conditionnel en translatant la variable courante de la valeur
10 du décalage optimal $h_{ij,pq,k}$, des moyens pour choisir une propriété de subsurface à lisser au voisinage conditionnel d'un point (i, j, k) d'une trace sismique locale continue "centrale" de référence, des moyens pour décaler les propriétés de subsurface du voisinage conditionnel en translatant la variable courante de la valeur du décalage optimal $h_{ij,pq,k}$ et des moyens pour prendre comme valeur lissée au point (i, j, k) une
15 moyenne des propriétés de subsurface décalées à l'étape d).

Selon d'autres caractéristiques de l'invention :

-le dispositif comporte des moyens de mémorisation et des moyens de visualisation de paramètres sismiques déterminés à l'aide du procédé selon l'invention.

L'invention a enfin pour objet un produit-programme d'ordinateur, comportant
20 des éléments de code de programme pour exécuter les étapes d'un procédé selon l'invention, lorsque ledit programme est exécuté par un ordinateur.

L'invention sera mieux comprise grâce à la description qui va suivre donnée à titre d'exemple non limitatif en référence aux dessins annexés dans lesquels :

- La figure 1 représente schématiquement une matrice sismique
25 tridimensionnelle et une trace sismique locale continue.

- La figure 2 représente schématiquement, un exemple de voisinage local $N_{ij,k}$ consistant en un ensemble de trace sismique locale continues $S_{pq,k}(t)$ voisines de la trace centrale de référence $S_{ij,k}(t)$ elle même située a la verticale du géophone G_{ij} et interpolant les amplitudes sismiques autour de $t=k$.

30 - La figure 3 représente schématiquement, une section verticale de voisinage local conditionnel $N_{ij,k}(r)$ d'une trace sismique locale continue de référence $S_{ij,k}(t)$.

- La figure 4 représente schématiquement, une section verticale d'une matrice sismique tridimensionnelle avec un décalage optimal $h_{ij,pq,k}$ et un voisinage conditionnel $N_{ij,k}(r)$.

5 - La figure 5 représente schématiquement, une section verticale d'une matrice sismique tridimensionnelle analogue à la figure 4 avec présence d'une faille ou discontinuité

- La figure 6 représente schématiquement, un organigramme fonctionnel d'un procédé selon l'invention.

10 En référence aux figures 1 à 5, les éléments identiques ou fonctionnellement équivalents sont désignés ou repérés de manière identique.

Sur la figure 1, une matrice sismique tridimensionnelle est obtenue par relevé de mesures enregistrées par des géophones G_{ij} disposés sur un réseau x,y en des points de coordonnées i, j . Le relevé des mesures échantillonnées dans le temps est représenté suivant un axe t descendant représentatif de la profondeur ou d'une verticale descendante à partir de la surface de la terre ou de la mer. Les mesures sont
15 caractérisées par leur amplitude, par exemple une amplitude relevée par le géophone G_{ij} au temps ou à la profondeur d'échantillonnage t_k . La mesure discrète effectuée par le géophone G_{ij} au temps ou à la profondeur t_k est appelée amplitude sismique $S_{ij,k}$.

L'ensemble des amplitudes sismiques correspondant à un géophone G_{ij} de
20 coordonnées i, j est une matrice unidimensionnelle $(S_{ij1}, S_{ij2}, \dots, S_{ijk}, \dots, S_{ijN})$ appelées trace sismique discrète, car cette matrice unidimensionnelle correspond à la trace selon le point de coordonnées horizontales i, j de la matrice sismique tridimensionnelle obtenue par mesures sismiques.

L'axe vertical t orienté selon une verticale descendante désigne usuellement le
25 temps, mais peut également être traité pour représenter une profondeur à partir de la surface.

L'invention concerne aussi bien l'application à une troisième coordonnée t représentative du temps, qu'à une troisième coordonnée t représentative de la profondeur.

30 A partir de la trace sismique discrète située à la verticale d'un géophone G_{ij} on définit, par interpolation ou approximation des valeurs discrètes autour de $t=t_k=k$, une

fonction continue $S_{ij,k}(t)$ qui est désignée comme "trace sismique locale continue". Les méthodes d'approximation ou d'interpolation de valeurs discrètes pour engendrer une fonction continue sont nombreuses, et comprennent notamment les interpolations ou approximations polynomiales, ainsi que les interpolations ou approximations trigonométriques polynomiales.

Toute autre variante d'interpolation ou d'approximation fournissant une fonction continue peut également être appliquée à la présente invention pour fournir une "trace sismique locale continue".

Sur la figure 2, plusieurs traces sismiques locales continues définissent un exemple de voisinage d'une trace sismique locale continue "centrale" $S_{ij,k}(t)$ de référence. Le voisinage d'une trace sismique locale continue $S_{ij,k}(t)$ est défini comme l'ensemble des traces sismiques locales continues dont les indices spatiaux horizontaux p, q sont voisins des indices spatiaux horizontaux i, j de la trace sismique locale continue de référence.

A titre d'exemple, les coordonnées spatiales horizontales p, q correspondant au géophone G_{pq} sont voisines des coordonnées spatiales horizontales i, j correspondant au géophone G_{ij} si les valeurs absolues des différences $i-p$ et $j-q$ sont inférieures à des entiers donnés, par exemple à 2.

Dans ce cas, comme représenté à la figure 2, la trace sismique locale continue $S_{ij,k}(t)$ est associée à huit traces sismiques locales continues voisines entourant la trace sismique locale continue "centrale" $S_{ij,k}(t)$.

Dans le cas de traces sismiques locales continues produites par des mesures sismiques, le profil des horizons géologiques introduit des décalages verticaux entre des traces sismiques locales continues voisines. Dans le but de déterminer des relations entre deux traces sismiques continues locales voisines $S_{ij,k}(t)$ et $S_{pq,k}(t)$ centrées sur la même coordonnée verticale d'échantillonnage $t=t_k=k$ et correspondant à des coordonnées spatiales i, j et p, q différentes, on calcule la fonction de corrélation $R_{ij,pq,k}(h)$ des deux traces sismiques locales continues.

La fonction de corrélation de deux traces sismiques locales continues voisines est obtenue par la formule suivante

$$R_{ij,pq,k}(h) = \frac{C_{ij,pq,k}(h)}{\sqrt{C_{ij,ij,k}(0) \cdot C_{pq,pq,k}(0)}}$$

où le numérateur correspond à la fonction de covariance de $S_{ij,k}(t)$ et $S_{pq,k}(t)$

obtenue par l'expression suivante $C_{ij,pq,k}(h) = \int_{t_k-\Delta}^{t_k+\Delta} S_{ij,k}(t) \cdot S_{pq,k}(t+h) \cdot dt$.

- 5 Dans cette intégrale définissant $C_{ij,pq,k}(h)$, le paramètre Δ définit une « fenêtre verticale d'investigation » autour de $t=t_k=k$.

Par exemple, si les traces sismiques locales continues $S_{ij,k}(t)$ et $S_{pq,k}(t)$ sont des polynômes trigonométriques de la forme suivante interpolant les données sismiques

$$S_{ij,k}(t) = \sum_{s=1}^m a_s^{ij,k} \cdot \cos(s\omega t) + b_s^{ij,k} \cdot \sin(s\omega t)$$

$$10 \quad S_{ij,k}(t) = \sum_{s=1}^m a_s^{ij,k} \cdot \cos(s\omega t) + b_s^{ij,k} \cdot \sin(s\omega t)$$

alors on peut montrer que la fonction de covariance $C_{ij,pq,k}(h)$ est elle même un polynôme trigonométrique de la forme suivante où les coefficients $A_s^{ij,pq,k}$ et $B_s^{ij,pq,k}$ dépendent des coefficients $a_s^{ij,k}$, $a_s^{pq,k}$, $b_s^{ij,k}$ et $b_s^{pq,k}$:

$$15 \quad C_{ij,pq,k}(h) = \sum_{s=1}^m A_s^{ij,pq,k} \cdot \cos(s\omega h) + B_s^{ij,pq,k} \cdot \sin(s\omega h)$$

Un résultat mathématique classique et connu est que la fonction de corrélation

$$R_{ij,pq,k}(h) = \frac{C_{ij,pq,k}(h)}{\sqrt{C_{ij,ij,k}(0) \cdot C_{pq,pq,k}(0)}} \quad \text{traduit une similarité des fonctions corrélées}$$

lorsque cette fonction de corrélation se rapproche de 1.

20

- L'étude des fonctions de corrélation des traces sismiques locales continues $S_{ij,k}(t)$ et $S_{pq,k}(t)$ permet de définir comme décalage optimal la valeur $h_{ij,pq,k}$ de h correspondant au maximum de la fonction de corrélation $R_{ij,pq,k}(h)$, c'est-à-dire au maximum de la fonction de corrélation le plus proche de 1. Contrairement à l'art existant basé sur une formulation discrète de la fonction de corrélation $R_{ij,pq,k}(h)$,
 25 l'utilisation d'une formulation continue des traces sismiques et donc de la fonction de corrélation permet d'obtenir un décalage optimum qui n'est pas contraint à être un multiple entier du pas d'échantillonnage suivant l'axe vertical correspondant à la variable t .

La définition du décalage optimal $h_{ij,pq,k}$ de deux traces sismiques locales continues voisines permet d'obtenir une première approximation des horizons passant par cette trace sismique locale continue de référence $S_{ij,k}(t)$, comme représenté aux figures 3 à 5. Contrairement à l'art existant, le fait d'utiliser des décalages optimaux
5 qui ne sont pas contraint à être un multiple entier du pas d'échantillonnage suivant l'axe vertical permet d'éviter des erreurs connues sous le nom « d'aliasing ».

Sur ces figures 3 à 5, on définit un voisinage conditionnel $N_{ij,k}(r)$ de la trace sismique continue locale de référence $S_{ij,k}(t)$ qui est un sous-voisinage du voisinage initial des traces sismiques locales continues retenues pour le calcul de corrélation et
10 de définition des décalages optimaux. Le voisinage conditionnel $N_{ij,k}(r)$ est choisi de manière que, pour toute trace sismique continue locale $S_{pq,k}(t)$ appartenant à $N_{ij,k}(r)$, le décalage optimal $h_{ij,pq,k}$ correspondant est tel que la corrélation $R_{ij,pq,k}(h_{ij,pq,k})$ entre $S_{ij,k}(t)$ et $S_{pq,k}(t)$ est supérieure à un seuil prédéterminé r compris entre 0 et 1.

Comme on le voit sur la figure 5, la fixation du seuil r permet également
15 d'englober dans un voisinage conditionnel une discontinuité ou une faille géologique, ce qui constitue un avantage important par rapport à l'art antérieur.

Les dispositions précitées fournissent ainsi une modélisation continue permettant la mise en œuvre de l'invention.

En référence à la figure 6, un procédé de lissage ou propriété de subsurface
20 dans une structure géologique représenté par des mesures sismiques comporte une première étape 100 de modélisation numérique, comme décrit en référence aux figures 1 à 5, pour définir des traces sismiques locales continues d'une matrice sismique multidimensionnelle, calculer les décalages optimaux de traces sismiques locales continues voisines et définir les voisinages conditionnels des traces sismiques locales
25 continues "centrales" de référence.

Après cette première étape 100 de modélisation numérique, une étape 101 permet de choisir la propriété à lisser sur un voisinage conditionnel. Cette propriété à lisser sur un voisinage conditionnel peut consister en toute fonction multidimensionnelle de la subsurface à analyser.

30 En particulier, la propriété à lisser peut simplement consister en l'amplitude du signal sismique réfléchi par les horizons de la subsurface en direction des géophones de mesure.

A l'étape 102, on remplace les propriétés du voisinage conditionnel par les propriétés décalées de la valeur du décalage optimal $h_{ij,pq,k}$, de manière à constituer un ensemble de propriétés relatives au même horizon.

5 Ainsi, dans le cas d'une trace locale sismique continue centrale de référence $S_{ij,k}(t)$, on remplace toutes les valeurs $S_{pq,k}(t)$ du voisinage conditionnel par les valeurs $S_{pq,k}(t+h_{ij,pq,k})$.

On effectue ensuite à l'étape 103 une moyenne des valeurs décalées $S_{pq,k}(t+h_{ij,pq,k})$ établies à l'étape 102 et on choisit comme valeur de la propriété au point de coordonnées spatiales i,j et de coordonnée temporelle ou de profondeur $t=t_k=k$, la
10 moyenne ainsi calculée.

L'invention s'applique à plusieurs variantes d'établissement de moyennes : on peut par exemple utiliser une moyenne pondérée ou non pondérée ; ou, alternativement, on peut également utiliser une moyenne arithmétique, une moyenne géométrique, une moyenne harmonique, pondérée ou non pondérée.

15 Dans le cas d'une moyenne pondérée, on peut avantageusement utiliser comme facteur de pondération la valeur maximale de la fonction de corrélation

$R_{ij,pq,k}(h_{ij,pq,k})$, en reflétant ainsi le degré de confiance accordable à chaque décalage optimal correspondant à un maximum d'une fonction de corrélation.

Le procédé de lissage ou de filtrage d'une propriété selon la présente invention
20 permet ainsi d'améliorer le contraste et la précision des propriétés de subsurface dans une matrice sismique multidimensionnelle.

Si nécessaire, afin d'améliorer le lissage, l'ensemble du processus décrit par la présente invention peut être répété sur le lissage obtenu lors d'une iteration précédente. L'étape 104 constitue une étape itérative dans laquelle l'opérateur peut définir le
25 nombre d'itérations adéquates à la résolution de son problème.

L'invention est de préférence mise en œuvre sur un dispositif comportant des moyens pour accomplir successivement les étapes du procédé décrit en référence à la figure 6.

En particulier, ce dispositif comporte des moyens de visualisation des
30 paramètres sismiques ou propriétés obtenues à l'étape 105 et des moyens de mémorisation de programme et de calculs intermédiaires.

De préférence, ce dispositif est un dispositif programmable commandé par un produit-programme d'ordinateur, réalisé pour mettre en œuvre un procédé selon l'invention.

- 5 L'invention décrite en référence à plusieurs objets particuliers n'y est nullement limitée mais couvre au contraire toute modification de forme et toute variante de réalisation dans le cadre et l'esprit de l'invention, l'essentiel étant d'utiliser des valeurs de propriétés recalées par rapport aux décalages optimaux déterminés comme valeurs correspondant à la maximisation des fonctions de corrélation de traces sismiques locales continues ou même discrètes.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de lissage d'une propriété de subsurface dans une structure géologique représentée par mesures sismiques, dans lequel on construit une fonction continue $S_{ij,k}(t)$ par interpolation ou approximation des traces sismiques discrètes d'une
- 5 matrice sismique multidimensionnelle, ladite fonction $S_{ij,k}(t)$ étant désignée comme "trace sismique locale continue", comportant les étapes suivantes :
- a). utiliser comme décalage optimal de deux traces sismiques locales continues voisines $S_{ij,k}(t)$ et $S_{pq,k}(t)$, la valeur de décalage rendant maximale leur fonction de corrélation, ce décalage optimal n'étant pas contraint à être un multiple entier du pas
- 10 d'échantillonnage vertical ;
- b). retenir comme voisinage conditionnel d'une trace sismique locale continue "centrale" $S_{ij,k}(t)$ le sous-voisinage consistant en des traces voisines $S_{pq,k}(t)$ correspondant à des décalages optimaux associés à des corrélations $R_{ij,pq,k}(h)$ supérieures à un seuil prédéterminé compris entre 0 et 1 ;
- 15 c). choisir une propriété de subsurface à lisser au voisinage conditionnel d'un point (i, j, k) d'une trace sismique locale continue "centrale" de référence ;
- d). décaler les propriétés de subsurface du voisinage conditionnel en translatant la variable courante de la valeur du décalage optimal ($h_{ij,pq,k}$) ;
- e). prendre comme valeur lissée au point (i, j, k) une moyenne des propriétés de
- 20 subsurface décalées à l'étape d).
2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel la moyenne des propriétés de surface de l'étape e) est une moyenne pondérée, par exemple par la valeur de corrélation maximale correspondant au décalage optimal.
3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, dans lequel la moyenne des propriétés
- 25 de subsurface de l'étape e) est choisie dans l'ensemble suivant : moyenne arithmétique, moyenne géométrique, moyenne harmonique pondérée ou non.
4. Procédé selon la revendication 1, dans lequel on choisit comme propriété de subsurface à lisser, l'amplitude réfléchie et captée par des géophones.
5. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel
- 30 on itère le processus de lissage en l'appliquant sur le résultat d'un lissage antérieur.

6. Procédé selon la revendication 1 ou la revendication 5, dans lequel on visualise une matrice multidimensionnelle de propriété lissée sur un écran de visualisation.

5 7. Dispositif pour la mise en œuvre du procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, comportant des moyens pour utiliser comme décalage optimal de deux traces sismiques locales continues voisines la valeur $h_{ij,pq,k}$ de décalage rendant maximale leur fonction de corrélation, des moyens pour décaler les propriétés de subsurface du voisinage conditionnel en translatant la variable courante de la valeur du décalage optimal $h_{ij,pq,k}$, des moyens pour choisir une propriété de subsurface à lisser
10 au voisinage conditionnel d'un point (i, j, k) d'une trace sismique locale continue "centrale" de référence, des moyens pour décaler les propriétés de subsurface du voisinage conditionnel en translatant la variable courante de la valeur du décalage optimal $h_{ij,pq,k}$ et des moyens pour prendre comme valeur lissée au point (i, j, k) une moyenne des propriétés de subsurface décalées à l'étape d).

15 8. Dispositif selon la revendication 7, comportant des moyens de mémorisation et des moyens de visualisation de paramètres sismiques déterminés à l'aide du procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6.

9. Produit-programme d'ordinateur, comportant des éléments de code de programme pour exécuter les étapes du procédé selon l'une quelconque des
20 revendications 1 à 5, lorsque ledit programme est exécuté par un ordinateur.

10. Produit-programme d'ordinateur, comportant des éléments de code de programme pour exécuter les étapes du procédé selon la revendication 6, lorsque ledit programme est exécuté par un ordinateur.

1/3

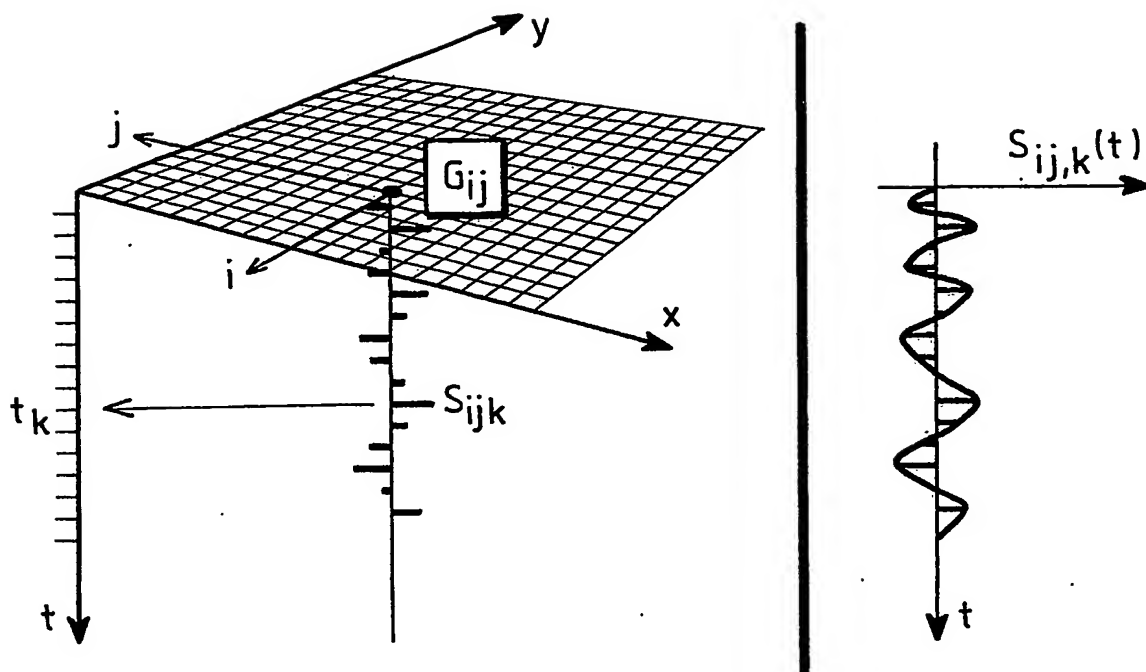


FIG. 1

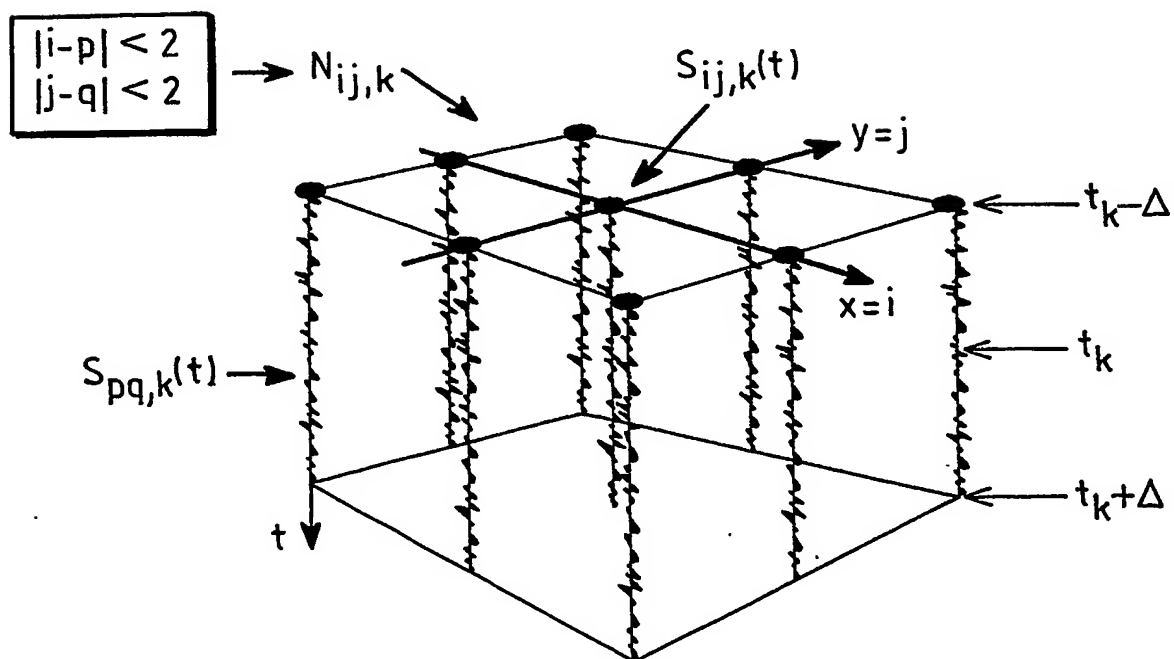


FIG. 2

2/3

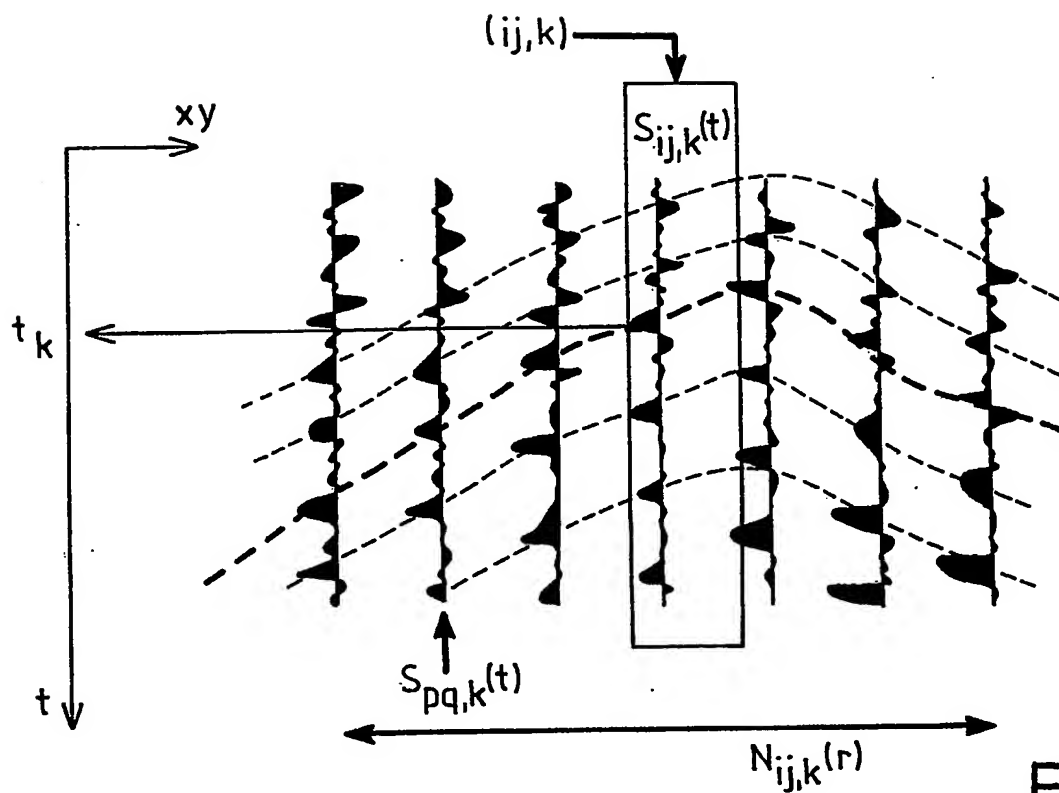


FIG. 3

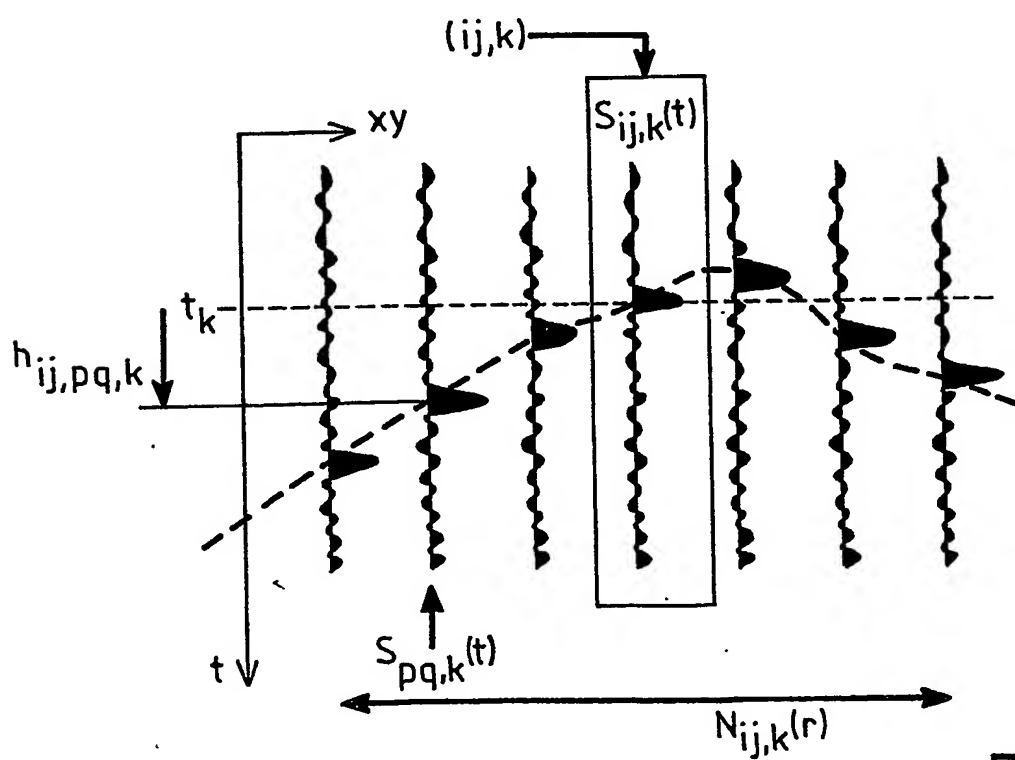


FIG. 4

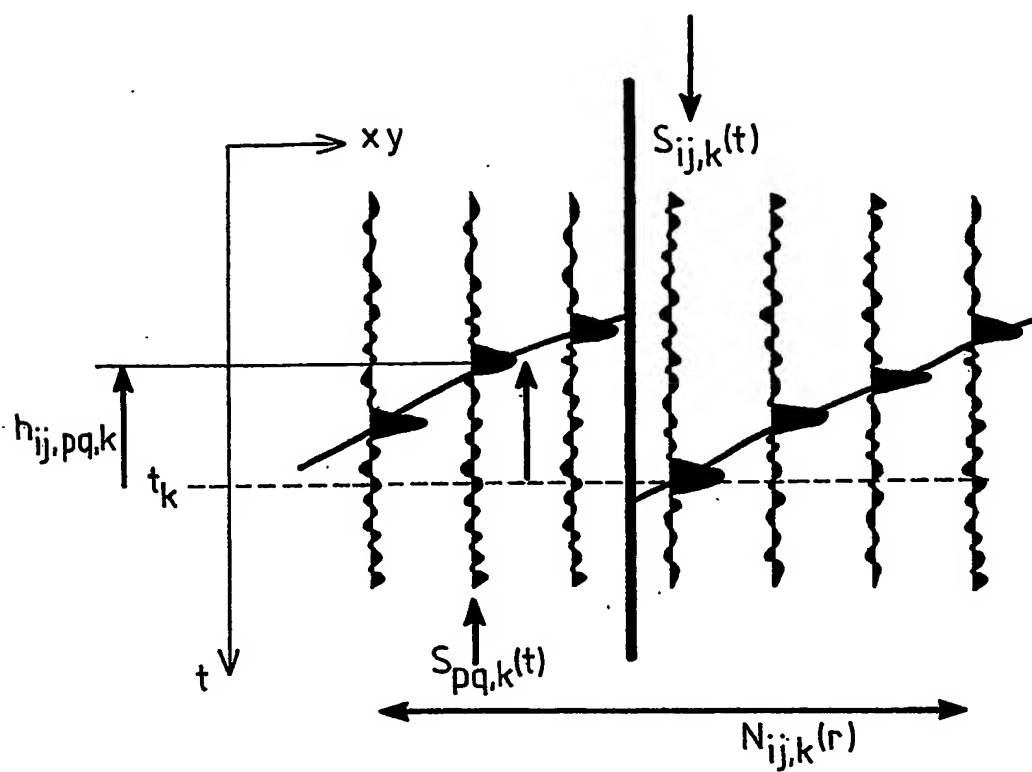


FIG.5

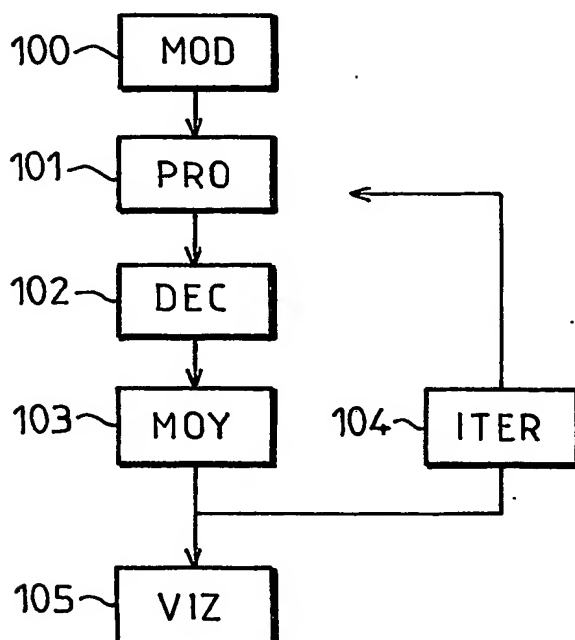


FIG.6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.

PCT/FR 03/01755

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 IPC 7 G01V1/30 G01V1/28

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G01V

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category * | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|------------|--|-----------------------|
| X | US 5 615 171 A (HILDEBRAND HAROLD A) 25 March 1997 (1997-03-25) column 5, line 31 -column 11, line 45 figures 1-10 | 1-10 |
| A | US 6 138 076 A (GRAF KERMIT E ET AL) 24 October 2000 (2000-10-24) column 5, line 4 -column 6, line 67 figures 19,20,23-28 | 1-10 |
| A | US 4 672 546 A (FLINCHBAUGH BRUCE E) 9 June 1987 (1987-06-09) column 2, line 33 -column 8, line 17 figures 1-10 | 1-10 |
| | --- -/-- | |

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

T later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

G document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

6 November 2003

Date of mailing of the international search report

13/11/2003

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Modesto, C

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR 03/01755

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category * | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|------------|---|-----------------------|
| A | US 5 930 730 A (KIRLIN R LYNN ET AL) 27 July 1999 (1999-07-27) column 5 -column 8 figures 1-10 --- | 1-10 |
| A | US 2002/022930 A1 (DALLEY RICHARD MAPES ET AL) 21 February 2002 (2002-02-21) cited in the application page 1, paragraph 16 -page 4, paragraph 59 figures 1-6 --- | 1-10 |
| A | US 6 151 555 A (PEPPER RANDOLPH E F ET AL) 21 November 2000 (2000-11-21) column 3, line 45 -column 5, line 38 figures 1-39 ----- | 1-10 |

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/FR 03/01755

| Patent document cited in search report | | Publication date | Patent family member(s) | Publication date |
|---|----|---------------------|----------------------------|---------------------|
| US 5615171 | A | 25-03-1997 | US 5432751 A | 11-07-1995 |
| | | | US 5251184 A | 05-10-1993 |
| | | | US 5153858 A | 06-10-1992 |
| | | | AT 129577 T | 15-11-1995 |
| | | | AT 190136 T | 15-03-2000 |
| | | | CA 2088501 A1 | 10-01-1993 |
| | | | CN 1070267 A ,B | 24-03-1993 |
| | | | DE 69205673 D1 | 30-11-1995 |
| | | | DE 69205673 T2 | 20-06-1996 |
| | | | DE 69230731 D1 | 06-04-2000 |
| | | | DE 69230731 T2 | 03-08-2000 |
| | | | DK 548341 T3 | 04-12-1995 |
| | | | DK 652447 T3 | 24-07-2000 |
| | | | EP 0548341 A1 | 30-06-1993 |
| | | | EP 0652447 A2 | 10-05-1995 |
| | | | ES 2144480 T3 | 16-06-2000 |
| | | | GR 3033559 T3 | 29-09-2000 |
| | | | NO 930843 A | 07-05-1993 |
| | | | RU 2107931 C1 | 27-03-1998 |
| | | | WO 9301508 A1 | 21-01-1993 |
| US 6138076 | A | 24-10-2000 | US 6014343 A | 11-01-2000 |
| | | | CA 2219216 A1 | 30-04-1998 |
| | | | FR 2755244 A1 | 30-04-1998 |
| | | | FR 2760275 A1 | 04-09-1998 |
| | | | GB 2320968 A ,B | 08-07-1998 |
| | | | NO 975004 A | 04-05-1998 |
| US 4672546 | A | 09-06-1987 | CA 1249876 A1 | 07-02-1989 |
| | | | EP 0181216 A2 | 14-05-1986 |
| | | | NO 854447 A | 09-05-1986 |
| US 5930730 | A | 27-07-1999 | US 5563949 A | 08-10-1996 |
| | | | AU 709621 B2 | 02-09-1999 |
| | | | AU 7382996 A | 28-04-1997 |
| | | | CA 2204168 A1 | 10-04-1997 |
| | | | CN 1166207 A | 26-11-1997 |
| | | | EP 0796442 A1 | 24-09-1997 |
| | | | NO 971801 A | 05-06-1997 |
| | | | WO 9713166 A1 | 10-04-1997 |
| | | | US RE38229 E1 | 19-08-2003 |
| | | | AU 696742 B2 | 17-09-1998 |
| | | | AU 4133396 A | 03-07-1996 |
| | | | CA 2179901 A1 | 20-06-1996 |
| | | | CN 1138902 A ,B | 25-12-1996 |
| | | | EG 20609 A | 30-09-1999 |
| | | | EP 0736185 A1 | 09-10-1996 |
| | | | NO 962731 A | 11-10-1996 |
| | | | RU 2144683 C1 | 20-01-2000 |
| | | | WO 9618915 A1 | 20-06-1996 |
| | | | US 5838564 A | 17-11-1998 |
| | | | RU 2187130 C2 | 10-08-2002 |
| US 2002022930 | A1 | 21-02-2002 | AU 5616501 A | 03-09-2001 |
| | | | CA 2398854 A1 | 30-08-2001 |
| | | | WO 0163323 A1 | 30-08-2001 |
| | | | EP 1257850 A1 | 20-11-2002 |
| | | | JP 2003524192 T | 12-08-2003 |

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/FR 03/01755

| Patent document cited in search report | Publication date | Patent family member(s) | Publication date |
|---|---------------------|----------------------------|---------------------|
| US 2002022930 A1 | | NO 20024030 A | 23-08-2002 |
| US 6151555 A | 21-11-2000 | AU 3866300 A | 28-09-2000 |
| | | CA 2362848 A1 | 14-09-2000 |
| | | EP 1198776 A1 | 24-04-2002 |
| | | GB 2370878 A ,B | 10-07-2002 |
| | | NO 20014353 A | 07-09-2001 |
| | | WO 0054207 A1 | 14-09-2000 |

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale No

PCT/FR 03/01755

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
CIB 7 G01V1/30 G01V1/28

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 7 G01V

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

| Catégorie ° | Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents | no. des revendications visées |
|-------------|--|-------------------------------|
| X | US 5 615 171 A (HILDEBRAND HAROLD A) 25 mars 1997 (1997-03-25) colonne 5, ligne 31 -colonne 11, ligne 45 figures 1-10 | 1-10 |
| A | US 6 138 076 A (GRAF KERMIT E ET AL) 24 octobre 2000 (2000-10-24) colonne 5, ligne 4 -colonne 6, ligne 67 figures 19,20,23-28 | 1-10 |
| A | US 4 672 546 A (FLINCHBAUGH BRUCE E) 9 juin 1987 (1987-06-09) colonne 2, ligne 33 -colonne 8, ligne 17 figures 1-10 | 1-10 |
| | -/- | |

☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

° Catégories spéciales de documents cités:

"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent

"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date

"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)

"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens

"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

6 novembre 2003

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

13/11/2003

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Modesto, C

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale No
PCT/FR 93/01755

C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

| Catégorie | Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents | no. des revendications visées |
|-----------|---|-------------------------------|
| A | US 5 930 730 A (KIRLIN R LYNN ET AL) 27 juillet 1999 (1999-07-27) colonne 5 -colonne 8 figures 1-10 | 1-10 |
| A | US 2002/022930 A1 (DALLEY RICHARD MAPES ET AL) 21 février 2002 (2002-02-21) cité dans la demande page 1, alinéa 16 -page 4, alinéa 59 figures 1-6 | 1-10 |
| A | US 6 151 555 A (PEPPER RANDOLPH E F ET AL) 21 novembre 2000 (2000-11-21) colonne 3, ligne 45 -colonne 5, ligne 38 figures 1-39 | 1-10 |

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres des familles de brevets

Demande internationale No

PCT/FR 03/01755

| Document brevet cité au rapport de recherche | | Date de publication | Membre(s) de la famille de brevet(s) | Date de publication |
|---|----|------------------------|---|------------------------|
| US 5615171 | A | 25-03-1997 | US 5432751 A | 11-07-1995 |
| | | | US 5251184 A | 05-10-1993 |
| | | | US 5153858 A | 06-10-1992 |
| | | | AT 129577 T | 15-11-1995 |
| | | | AT 190136 T | 15-03-2000 |
| | | | CA 2088501 A1 | 10-01-1993 |
| | | | CN 1070267 A ,B | 24-03-1993 |
| | | | DE 69205673 D1 | 30-11-1995 |
| | | | DE 69205673 T2 | 20-06-1996 |
| | | | DE 69230731 D1 | 06-04-2000 |
| | | | DE 69230731 T2 | 03-08-2000 |
| | | | DK 548341 T3 | 04-12-1995 |
| | | | DK 652447 T3 | 24-07-2000 |
| | | | EP 0548341 A1 | 30-06-1993 |
| | | | EP 0652447 A2 | 10-05-1995 |
| | | | ES 2144480 T3 | 16-06-2000 |
| | | | GR 3033559 T3 | 29-09-2000 |
| | | | NO 930843 A | 07-05-1993 |
| | | | RU 2107931 C1 | 27-03-1998 |
| | | | WO 9301508 A1 | 21-01-1993 |
| US 6138076 | A | 24-10-2000 | US 6014343 A | 11-01-2000 |
| | | | CA 2219216 A1 | 30-04-1998 |
| | | | FR 2755244 A1 | 30-04-1998 |
| | | | FR 2760275 A1 | 04-09-1998 |
| | | | GB 2320968 A ,B | 08-07-1998 |
| | | | NO 975004 A | 04-05-1998 |
| US 4672546 | A | 09-06-1987 | CA 1249876 A1 | 07-02-1989 |
| | | | EP 0181216 A2 | 14-05-1986 |
| | | | NO 854447 A | 09-05-1986 |
| US 5930730 | A | 27-07-1999 | US 5563949 A | 08-10-1996 |
| | | | AU 709621 B2 | 02-09-1999 |
| | | | AU 7382996 A | 28-04-1997 |
| | | | CA 2204168 A1 | 10-04-1997 |
| | | | CN 1166207 A | 26-11-1997 |
| | | | EP 0796442 A1 | 24-09-1997 |
| | | | NO 971801 A | 05-06-1997 |
| | | | WO 9713166 A1 | 10-04-1997 |
| | | | US RE38229 E1 | 19-08-2003 |
| | | | AU 696742 B2 | 17-09-1998 |
| | | | AU 4133396 A | 03-07-1996 |
| | | | CA 2179901 A1 | 20-06-1996 |
| | | | CN 1138902 A ,B | 25-12-1996 |
| | | | EG 20609 A | 30-09-1999 |
| | | | EP 0736185 A1 | 09-10-1996 |
| | | | NO 962731 A | 11-10-1996 |
| | | | RU 2144683 C1 | 20-01-2000 |
| | | | WO 9618915 A1 | 20-06-1996 |
| | | | US 5838564 A | 17-11-1998 |
| | | | RU 2187130 C2 | 10-08-2002 |
| US 2002022930 | A1 | 21-02-2002 | AU 5616501 A | 03-09-2001 |
| | | | CA 2398854 A1 | 30-08-2001 |
| | | | WO 0163323 A1 | 30-08-2001 |
| | | | EP 1257850 A1 | 20-11-2002 |
| | | | JP 2003524192 T | 12-08-2003 |

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres des familles de brevets

Demande internationale No

PCT/F/03/01755

| Document brevet cité au rapport de recherche | Date de publication | Membre(s) de la famille de brevet(s) | Date de publication |
|---|------------------------|---|------------------------|
| US 2002022930 A1 | | NO 20024030 A | 23-08-2002 |
| US 6151555 A | 21-11-2000 | AU 3866300 A | 28-09-2000 |
| | | CA 2362848 A1 | 14-09-2000 |
| | | EP 1198776 A1 | 24-04-2002 |
| | | GB 2370878 A , B | 10-07-2002 |
| | | NO 20014353 A | 07-09-2001 |
| | | WO 0054207 A1 | 14-09-2000 |